

1) 199 41 398.3



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 41 16 044 C 2

⑤ Int. Cl.®:  
F28 D 15/00

⑳ Aktenzeichen: P 41 16 044.4-18  
㉑ Anmeldetag: 18. 5. 91  
㉒ Offenlegungstag: 21. 11. 91  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 9. 1. 97

DE 41 16 044 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
18.05.90 JP P 2-124084

⑦ Patentinhaber:  
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

⑦④ Vertreter:  
Feiler und Kollegen, 81675 München

⑦② Erfinder:  
Koizumi, Hisao, Zushi, Kanagawa, JP

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 35 03 180 A1  
US 50 08 889  
US 49 59 528  
US 48 18 845  
US 41 20 172

JP 82-112993 A. in: Patents Abstracts of Japan, Sect.  
M, Vol. 11, 1987, Nr. 330, M-636;

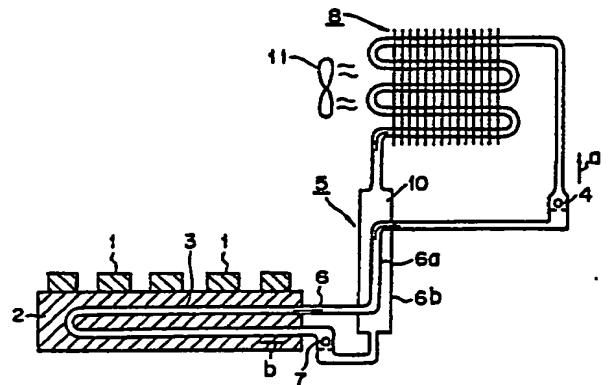
⑥④ Wärmeübertragungsanordnung

⑤⑦ Wärmeübertragungsanordnung, umfassend eine geschlossene Rohrleitungsschleife (8), die eine vorbestimmte Menge eines flüssigen Heizmediums (10) einschließt, einen Wärmeabnahmeteil (3), der Wärme von einem zu kühlenden Objekt (1) aufnimmt und die Wärme zum Heizmedium (10) in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (8) überträgt, einen Abstrahlteil (8), welcher dem Heizmedium (10) in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (8) Wärme entzieht, ein erstes Rückschlagventil (4), welches das Heizmedium (10) aufgrund einer Volumenausdehnung, die dann stattfindet, wenn mindestens ein Teil des Heizmediums (10) im Wärmeabnahmeteil (3) verdampft, in einer ersten Richtung zum Abstrahlteil (8) strömen läßt, und ein zweites Rückschlagventil (7), welches das Heizmedium (10) aufgrund einer Volumenverkleinerung, die dann entsteht, wenn das verdampfte Heizmedium (10) im Abstrahlteil (8) abkühlt, nur in der gleichen Richtung wie die erste Richtung strömen läßt, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendurchmesser d (mm) des Rohrs der geschlossenen Rohrleitungsschleife (8) nahe dem Wärmeabnahmeteil (3) entsprechend folgender Formel gewählt ist:

$$d < 2 \times \sqrt{\sigma / \rho g}$$

in welcher bedeuten:

$\sigma$  = Oberflächenspannung des Heizmediums (N/m),  
 $\rho$  = Dichte des Heizmediums (g/cm<sup>3</sup>) und  
 $g$  = Gravitationsbeschleunigung (m/s<sup>2</sup>).



DE 41 16 044 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Wärmeübertragungsanordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Artverwandte Anordnungen sind in US 4 818 845, US 4 959 526 und US 5 006 689 beschrieben.

Bei Wärmeübertragungsanordnungen mit Vorrichtungen zum Kühlen, Heizen bzw. Erwärmen und Klimatisieren von Geräten bzw. einer anderen Temperaturregelvorrichtung wird als Wärmeübertragungssystem, bei dem ein Heizmedium mittels einer Wärmefunktion zum Strömen gebracht wird, verbreitet die Wärmeübertragung bzw. der Wärmeübergang aufgrund natürlicher Zirkulation genutzt. Dieses System ist jedoch tatsächlich dann nicht wirksam, wenn nicht Wärmedichte und Übertragungsdichte gering sind.

In neuerer Zeit ist ein in Fig. 14 dargestellter Wärmehohlleiter (heat pipe) als Wärmeübertragungsanordnung, die mittels einer Wärmefunktion einer hohen Heizdichte oder -intensität arbeitet, untersucht und entwickelt worden.

Bei dieser Anordnung ist ein Heizmedium 100 in einer geschlossenen Rohrleitungsschleife 101 eingeschlossen. Wenn das Heizmedium 100 in einem Wärmeabnahmeteil 102 für das wärmeführende Heizmedium verdampft und in Gas übergeht und sodann in einen Abstrahlteil 103 strömt, wird das Gas kondensiert und verflüssigt, um dann unter Schwerkrafteinfluß wieder zum Abnahmeteil 102 zurückzukehren. Die Umwälzkraft in diesem System stützt sich mithin auf Schwerkraft. Bei diesem System gemäß Fig. 14 ist der Abstrahlteil 103 in einem höher als der Wärmeabnahmeteil 102 liegenden Bereich angeordnet, wobei die Anordnung der Rohrleitung Einschränkungen unterliegt, damit eine Strömung unter Schwerkrafteinfluß aufrechterhalten werden kann.

Da bei einem ohne Schwerkrafteinfluß arbeitenden System die Umwälzung von einer empfindlichen Kraft abhängt, die auf einer "Benetzungswirkung" (einer Art Kapillarscheinung oder -wirkung eines mediumführenden Materials, die auch als "Dochtwirkung" bezeichnet wird) beruht, ist die Zirkulations- oder Umwälzkraft des Heizmediums begrenzt. Der Wärmehohlleiter wird daher nur in sehr begrenztem Umfang eingesetzt, wobei im allgemeinen eine Pumpe zum Umwälzen des Heizmediums nötig ist. Eine Zwangsumwälzvorrichtung, wie eine Pumpe, besitzt dabei aber große Abmessungen und kompliziert den Aufbau. Aus diesem Grund besteht ein großer Bedarf nach einem Heizmediumumwälzsystem, bei dem kein mit Bewegung arbeitender Bauteil, wie eine Pumpe o. dgl., vorgesehen ist, der Aufbau einfach, die Betriebszuverlässigkeit hoch und die Herstellungskosten niedrig sind und die Einsatzbedingungen keinen Einschränkungen unterworfen sind.

Insbesondere sind in den letzten Jahren mit der Miniaturisierung von elektrischen Halbleiterschaltungen erhöhter Integrationsdichte Leistungshalbleiterelemente und ein solche Elemente verwendendes Leistungsregelsystem häufig bei Halbleitern oder Halbleiteranordnungen für z. B. Inverter-Klimatisiereinheiten und dgl. eingesetzt worden. Aus diesem Grund kann vorausgesetzt werden, daß Halbleiterregel- oder -steuerschaltungen hoher Wärme- oder Heizdichte in zunehmendem Maße eingesetzt werden.

Herkömmlicherweise wird zum Kühlen von Schaltungselementen und -substraten allgemein natürlicher Zug oder Zwangszug, d. h. Gebläsekühlung, angewandt. Außerdem wird mit erhöhter Heizdichte einer Heiz- oder Wärmequelle der genannte Wärmehohlleiter oder eine mit Wasserkühlung arbeitende Kühlvorrichtung verwendet. Da jedoch der Wärmehohlleiter den obengenannten Einschränkungen unterworfen ist und die Wasserkühlvorrichtung eine getrennte Wasserumwälzvorrichtung, wie eine Pumpe benötigt, werden derartige Anordnungen nur bei Geräten großer Abmessungen eingesetzt.

Wie erwähnt, wird die Kühlvorrichtung, als Beispiel für die Wärmeübertragungsanordnung, nur bei der Vorrichtung mit einer geringen Wärmeübertragungsdichte in dem sich auf natürliche Umwälzung ohne Schwerkrafteinfluß stützenden Wärmehohlleiter eingesetzt. Bei dem die Schwerkraft nutzenden Wärmehohlleiter sind andererseits die Anordnungspositionen der Bauteile (Wärmeabnahmeteil, Abstrahlteil und dgl.) Einschränkungen unterworfen. Nachteilig ist dabei ferner, daß die eine Zwangsumwälzvorrichtung, wie eine Pumpe, verwendende Anordnung insgesamt große Abmessungen erhält.

Eine gattungsgemäße Wärmeübertragungseinrichtung ist aus der US 4 120 172 bekannt, die eine mit einer verdampfenden Flüssigkeit befüllte geschlossene Rohrleitungsschleife aufweist. Die Rohrleitung verläuft durch einen Wärmeabnahmeteil, an dem Wärme von einem zu kühlenden Objekt aufgenommen und die Flüssigkeit dadurch zumindest teilweise verdampft wird, und durch eine Abstrahleinrichtung, in der die verdampfte Flüssigkeit unter Abgabe der Wärme wieder kondensiert wird. Der Transport durch die Rohrleitung erfolgt aufgrund der Volumenänderungen der Flüssigkeit und mittels zweier Rückschlagventile, die in die Rohrleitung eingefügt sind und nur eine Strömung in einer Richtung zulassen. Diese bekannte Wärmeübertragungseinrichtung weist außerdem eine mit der Rohrleitungsschleife verbundene Druckausgleichsvorrichtung auf, die aus einem durch eine flexible Membran in zwei Kammern unterteilten Gefäß besteht, wobei die Kammer, die nicht mit der Rohrleitungsschleife in Verbindung steht, mit einem Inertgas befüllt ist.

Weitere ähnliche Wärmeübertragungseinrichtungen sind außerdem noch aus der DE 35 03 160 A1 und der JP 62-112 993 bekannt.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer gattungsgemäßen Wärmeübertragungsanordnung hoher Wärmeübertragungsdichte, bei welcher die Anordnung der einzelnen Bauteile keiner Einschränkung unterliegt und der Aufbau einfach ist, weil keine eine mechanische Energiequelle aufweisende Umwälzvorrichtung, wie eine Pumpe, verwendet wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Durch diese Ausgestaltung wird erreicht, daß das Heizmedium in der geschlossenen Rohrleitungsschleife stets in einer sogenannten "Kolbenströmung" (entsprechend Fig. 12 und 13 der Beschreibung) strömt, wodurch der Durchfluß des Wärmemediums in der einen, durch die Rückschlagventile vorgegebenen Richtung kontinuierlich und effektiv aufrecht erhalten wird.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Wärmeübertragungsanordnung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Insbesondere ist in einer Ausführungsform der Druck in der geschlossenen Rohrleitungsschleife beliebig regelbar, so daß die Verdampfungstemperatur des Heizmediums (Siedepunkt) frei geregelt werden kann. Damit kann die Temperatur der einer Temperaturregelung zu unterziehenden Anordnung frei geregelt werden.

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung als Beispiel einer Wärmeübertragungsanordnung,

Fig. 2 bis 4 schematische Darstellungen anderer Ausführungsformen der Kühlvorrichtung gemäß der Erfindung,

Fig. 5A und 5B Schnittansichten zweier Ausführungsformen, im Schnitt längs der Linie A-A in Fig. 4,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Kühlvorrichtung mit einer Temperaturregelvorrichtung,

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Teils der Temperaturregelvorrichtung bei der Kühlvorrichtung nach Fig. 7,

Fig. 9A bis 9E schematische Schnittansichten jeweils eines Rückschlagventils zur Verwendung bei der Wärmeübertragungsanordnung, d. h. der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung, und der Temperaturregelvorrichtung,

Fig. 10 und 11 schematische Darstellungen verschiedener Strömungsarten des Heizmediums in den verschiedenen Rohrleitungen,

Fig. 12 ein Modell zur Darstellung einer kolbenartigen Strömung des Heizmediums in der Rohrleitung bei der Erfindung,

Fig. 13 eine Darstellung des Prinzips der Ermittlung der Bedingungen für die Dicke (Durchmesser) eines waagerechten Rohrs bei der Erfindung und

Fig. 14 eine schematische Darstellung eines Beispiels einer bisherigen Kühlvorrichtung.

Fig. 14 ist eingangs bereits erläutert worden.

Fig. 1 veranschaulicht eine erste Ausführungsform einer Kühlvorrichtung als ein Beispiel einer Wärmeübertragungsanordnung. Dabei sind mehrere zu kühlende Einheiten 1, z. B. sich stark erwärmende Halbleiterbauteile, so montiert, daß sie mit einer Kühlplatte 2 aus einem Werkstoff guter Wärmeleitfähigkeit, wie Kupfer, in Berührung stehen. In das Innere der Kühlplatte 2 ist ein Teil einer Heizmedium-Rohrleitung 6 eingesetzt, die als Wärmeabnahmeteil 3 der Kühlplatte 2 wirkt. In den weiteren (verlängerten) Abschnitt der Rohrleitung 6 ist ein als erster Abstrahlteil dienender Radiator 8 eingeschaltet, der durch ein Gebläse 11 angeblasen wird und dadurch Wärme vom Heizmedium an die Luft abgibt. Rückschlagventile 4 und 7 zur Steuerung der Strömung des Heizmediums sind in zwei Abschnitte der von der Kühlplatte 2 abgehenden (Heizmedium-)Rohrleitung 6 eingeschaltet. Die Rückschlagventile 4 und 7 lassen eine Strömung des Heizmediums nur in Richtung der Pfeile a bzw. b zu. Ein als zweiter Abstrahlteil dienender Flüssigkeits-Zwischenwärmetauscher 5 ist als Koaxial- oder Doppelrohrkonstruktion ausgebildet. Das im Wärmeabnahmeteil 3 erwärmte Heizmedium durchströmt ein Innenrohr 6a der Doppelrohrkonstruktion. Die gesamte Rohrleitungsschleife aus der Heizmedium-Rohrleitung 6 und einem Außenrohr 6b für das Innenrohr 6a sowie der externe Abschnitt oder Bereich sind dicht abgeschlossen, und das strömende Heizmedium 10 ist z. B. in der Rohrleitung eingeschlossen.

Als Heizmedium können insbesondere organische Heizmedien, wie Wasser, Methylalkohol, Ethylalkohol, verschiedene Freon-Arten und Butan, sowie andere Arten von Heizmedien, wie Fluorolefine, verwendet werden.

Die Menge der einzuschließenden Heizmedium-Flüssigkeit beträgt im allgemeinen etwa 20—99% des gesamten Schleifen-Fassungsvermögens, vorzugsweise 70—95% des gesamten Schleifen-Fassungsvermögens. In einem Gleichgewichtszustand in der Rohrleitung befindet sich die Flüssigkeitsmenge in einem Zustand, in welchem Dampf und Flüssigkeit unter einem Sättigungsdruck oder bei einer Sättigungstemperatur gleichzeitig vorliegen.

Wenn gleichzeitig mit der Inbetriebnahme der zu kühlenden Einheit 1 eine Erwärmung auftritt, wird ein Kühlgebläse 11, das den Radiator 8 anbläst, eingeschaltet. Sodann wird die Wärme der zu kühlenden Einheit 1 auf die Kühlplatte 2 und weiter auf das Heizmedium 10 in der betreffenden Rohrleitung des Wärmeabnahmeteils 3 übertragen. Mit einem Temperaturanstieg des Heizmediums 10 werden dabei Siedblasen erzeugt, wobei häufig oder wiederholt eine Verdampfung einsetzt. Durch die Verdampfung des Heizmediums 10 vergrößert sich dessen Volumen, so daß sich das Rückschlagventil 4 öffnet und das Heizmedium 10 in Richtung des Pfeils a strömt. Siede- bzw. Dampfblasen bewegen sich sequentiell durch die Rohrleitung und gelangen in den Bereich des Flüssigkeits-Zwischenwärmetauschers 5. Sodann gelangen die Siedblasen in Wärmeaustausch mit dem durch den Radiator 8 gekühlten Heizmedium, wodurch die Siedblasen gekühlt und kondensiert werden. Damit verkleinert sich das Volumen, und das Rückschlagventil 4 schließt, während das andere Rückschlagventil 7 öffnet. Infolgedessen strömt das Heizmedium 10 in der der Richtung des Pfeils a entsprechenden Richtung des Pfeils b in der geschlossenen Schleife. Tatsächlich finden die Verdampfung im Wärmeabnahmeteil und die Kondensation im Zwischenwärmetauscher gleichzeitig statt. Die Verdampfung ist jedoch zu einem bestimmten Zeitpunkt größer als die Kondensation, so daß eine Volumenausdehnung bzw. -Vergrößerung auftritt. Zum nächsten Zeitpunkt ist dann die Kondensation größer als die Verdampfung, so daß eine Volumenverkleinerung stattfindet. Das Volumen ändert sich auf die beschriebene Weise, wobei die Rückschlagventile 4 und 7 entsprechend dieser Änderung öffnen und schließen und das Heizmedium in Pfeilrichtung strömt.

Wie erwähnt, findet in der Heizmedium-Rohrleitung 6, die eine geschlossene Rohrleitungsschleife bildet, eine Einwegströmung des Heizmediums 10 statt. Das vergleichsweise gekühlte Heizmedium 10 wird dem Außenrohr 6b des Wärmetauschers 5 zugespeist, so daß der Radiator 8 den Wärmeaustauschwirkungsgrad zwischen

Innenrohr 6a und Außenrohr 6b verbessert.

Wie erwähnt, besteht das zugrundeliegende Prinzip darin, daß Wärmeenergie mittels des Abstrahlteils und zweier Rückschlagventile effektiv in eine Zirkulations- oder Umwälzkraft in der geschlossenen Rohrleitung umgewandelt wird. Die Bedingungen für effektive Förderung des Heizmediums in einer Richtung in der geschlossenen Rohrleitungsschleife lassen sich wie folgt erläutern:

Wenn das Heizmedium 10 im Wärmeabnahmeteil 3 Wärme aufnimmt, steigt seine Temperatur an; wenn die Temperatur die Sättigungstemperatur erreicht, entsteht Dampf, und das Heizmedium geht in einen Zweiphasenzustand über. Im Fall der sog. "Zweiphasenströmung" kann die Flüssigkeit in die verschiedenen Zustände gemäß den Fig. 10(a) bis 10(g) und 11(a) bis 11(h) übergehen. Im Fall, daß ein Strömungszustand, wie "Pfropfenströmung" ("plug flow"), "Klumpenströmung" ("slag flow"), "Stopfenströmung" ("floss flow"), einer solchen Bedingung unterworfen ist, daß er in die sog. "Kolbenströmung" ("piston flow") gemäß Fig. 12 übergeht, wird jedoch die Strömung durch die beiden Rückschlagventile 4 und 7 auf eine (einzige) Richtung begrenzt, wobei die Blasen anwachsen. Demzufolge wird die Flüssigkeit sicher zu einer Strömung in der einen Richtung gebracht. Im Fall einer Laminarströmung wird die Flüssigkeit, auch wenn die Dampfmenge zunimmt, nicht immer bewegt oder gefördert, vielmehr kann dabei nur Dampf strömen.

Die Bedingungen für die genannte Kolbenströmung lassen sich wie folgt analysieren: Um im Fall eines waagerechten Rohrs die Kraft, welche Dampf und Flüssigkeit ähnlich wie bei einer Laminarströmung unter der Schwerkraft im oberen und unteren Bereich zu trennen trachtet (vgl. Fig. 11(a)), auf der Kolbenströmung mit einer kleinen Grenzfläche aufgrund der Oberflächenspannung der Gas/Flüssigkeits-Grenzschichtfläche zu halten, lassen sich die folgenden drei Bedingungen angeben:

1. Die Rohre oder Rohrleitungen sollten dünner sein als eine vorbestimmte Dicke.
2. Zu starkes Sieden ist zu vermeiden; und
3. die Strömungsgeschwindigkeit sollte bis zu einem gewissen Grad langsam bzw. niedrig sein.

Fig. 13 veranschaulicht eine Wechselwirkung zwischen einer Kraft, die eine Laminarströmung unter Schwerkrafteinfluß (Fig. 11(a)) herbeizuführen sucht, und einer Kraft, welche die Strömung durch Oberflächenspannung als Kolbenströmung aufrechtzuerhalten trachtet, für den Fall eines waagerechten Rohrs. Das Rohr gemäß Fig. 13 ist ein waagerechtes, kreisrundes Rohr, wobei Fig. 13 die Gas/Flüssigkeits-Grenzschichtfläche im Kolbenströmungszustand veranschaulicht.

Gemäß Fig. 13 läßt sich die durch Schwerkraft erzeugte Druckdifferenz zwischen Punkten P1 und P2 nach folgender Gleichung berechnen:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g d$$

Darin bedeuten:  $\rho$  = Flüssigkeitsdichte ( $\text{kg/m}^3$ );  $g$  = Gravitationsbeschleunigung ( $\text{m/s}^2$ );  $\Delta P$  = Differenzdruck ( $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ ); und  $d$  = Rohrdurchmesser (m).

Der Anstiegsdruck  $P\sigma$  aufgrund der Oberflächenspannung unter dem in den Blasen herrschenden Druck läßt sich ebenfalls nach folgender Gleichung berechnen:

$$P\sigma \times \pi d^2/4 = \sigma \pi d \quad P\sigma = 4\sigma/d$$

Darin bedeuten:  $\sigma$  = Oberflächenspannung ( $\text{N/m}$ ) und  $P\sigma$  = Anstiegsdruck (rising pressure) aufgrund der Oberflächenspannung ( $\text{N/cm}^2$ ).

Wenn  $P\sigma$  größer ist als  $\Delta P$ , läßt sich, weil das Muster der Kolbenströmung nicht als durch Schwerkraft verformt betrachtet wird, die folgende Beziehung ableiten:

$$\begin{aligned} P\sigma &> \Delta P > \rightarrow 4\sigma/d > \rho g d \\ \rightarrow d^2 &< 4\sigma/\rho g \rightarrow d < 2\sqrt{\sigma/\rho g} \end{aligned} \quad (1)$$

Mit anderen Worten: wenn der Durchmesser des Rohrs (der Rohrleitung) kleiner ist als  $2\sqrt{\sigma/\rho g}$ , ändert sich die kolbenartige Blase gemäß Fig. 12 nicht unter Schwerkrafteinfluß zu einer laminaren Form nach Fig. 11(a).

Da außerdem angenommen werden kann, daß sich die kolbenartige Blase in einem lotrechten Rohr und in einer geneigten oder schrägen Anordnung nur schwer verformen kann, ist die obige Gleichung (1) allgemein gültig. Wenn zudem die Schwerkraft kleiner ist als nach Gleichung (1), z. B. in einem Raumsatelliten, zeigt es sich, daß die kolbenartige Blase auch in einem dickeren Rohr erhalten bleiben kann.

Die Einheiten (m) und ( $\text{kg/m}^3$ ) in obiger Gleichung (1) lassen sich auch in (mm) bzw. ( $\text{g/cm}^3$ ) ändern. Unter Anwendung der festen Größe  $g = 10 (\text{m/s}^2)$  ist obige Gleichung (1) gleich der folgenden Gleichung (2):

$$d < 20 \sqrt{\sigma/\rho} \quad (2)$$

Die Rohrleitung braucht nicht immer waagerecht angeordnet zu sein, sondern kann auch schräg oder lotrecht angeordnet sein.

Die Oberflächenspannung ist aufgrund zahlreicher veränderlicher Faktoren nicht stabil (gleichbleibend). Die obigen Gleichungen (1) und (2) liefern einige beispielhafte Durchmesser für die Rohrleitung.

Durchgeführte Versuche haben bestätigt, daß die Anordnung normalerweise innerhalb der durch die folgende Gleichung (3) angegebenen Grenzen benutzt werden kann:

$$d < 150 \sqrt{\sigma/\rho} \quad (3)$$

Wenn — wie erwähnt — Dampf entsteht und die Verdampfung andauert, die Blasen sich vergrößern und das Volumen zunimmt, öffnet das Rückschlagventil 4, während das Rückschlagventil 7 schließt. Dadurch werden Flüssigkeit und Blasen mit Druck beaufschlagt, und sie strömen in einer Richtung. Wenn Blasen in den Flüssigkeits-Zwischenwärmetauscher 5 eintreten, werden die Blasen durch den Wärmetausch mit dem im Abstrahlteil 8 gekühlten Heizmedium 10 kondensiert, so daß sich das Volumen zu verkleinern beginnt. Da das dem Wärmeabnahmeteil 3 vorgeschaltete Rückschlagventil 7 öffnet und das Rückschlagventil 4 schließt, wird danach das vom Abstrahlteil 8 zurückgeführte Heizmedium in den Wärmeabnahmeteil 3 eingeführt. Sodann wird der Wärmeabnahmeteil 3 gekühlt, und die Verdampfung wird unterdrückt, wodurch die Verkleinerung des Volumens weiter begünstigt wird. Wenn die Kondensation der Blasen weiter fortschreitet und sich das Volumen ausreichend verkleinert, wird die Strömung des Heizmediums 10 zum Wärmeabnahmeteil 3 beendet oder angehalten, wobei die Temperatur des Wärmeabnahmeteils 3 wieder ansteigt und der Zyklus der Verdampfung, Blasenvergrößerung und Volumenausdehnung sich wiederholt. Aufgrund der Wiederholung dieses Zyklus dauert die Pumpfunktion oder -wirkung an, wobei das Heizmedium vom Wärmeabnahmeteil 3 zum Abstrahlteil 8 oder von letzterem zum Wärmeabnahmeteil 3 umgewälzt wird, wodurch die beschriebene Anordnung ihre Funktion als Kühlsystem ausführt.

Wenn bei einer solchen Heizmedium-Umwälzfunktion der Heiz- oder Wärmewert der zu kühlenden Einheit 1 ansteigt, wird die Entstehung von Siedebblasen begünstigt, so daß die Kühlwirkung sehr wirksam ist. Wenn der Wärmewert der zu kühlenden Einheit 1 abnimmt, wird die Entstehung von Siedebblasen gesteuert oder begrenzt, so daß die Kühlwirkung abnimmt.

Mit anderen Worten: es kann gesagt werden, daß die Kühlvorrichtung eine sog. "Temperatur-Selbstregelfunktion" aufweist. Wenn insbesondere der Erwärmungs- bzw. Wärmewert groß ist, verstärkt sich die Kühlwirkung automatisch ohne jede Steuerung von einem externen Teil her; bei einem kleinen Wärmewert wird die Kühlwirkung dagegen, wiederum ohne jede Steuerung von einem externen Teil her, automatisch abgeschwächt. Die Kühlvorrichtung vermag somit die Temperatur der zu kühlenden Einheit 1 in einem gewissen Ausmaß auf die vorbestimmte Größe zu regeln. Ersichtlicherweise stellt eine solche Temperatur-Selbst- oder Eigenregelung eine bemerkenswert vorteilhafte Funktion dar.

In der folgenden Tabelle I sind anhand der obigen Gleichung (1) berechnete numerische Größen für die Dicke der Rohrleitungen im Bereich des Wärmeabnahmeteils 3 der Heizmedium-Rohrleitung 6, um die Heizmedium-Umwälzfunktion wirksam zu erzielen, aufgeführt. Die angegebenen Größen für die Dicken (Durchmesser) dieser Rohrleitungen gelten dabei für den Fall, in welchem die Rohrleitung 6 waagerecht angeordnet ist; sie stellen zweckmäßige Größen oder Werte für die größtmögliche Verbesserung des Umwälzwirkungsgrads dar. Die Anordnung ist aber nicht auf diese Angaben beschränkt.

Tabelle I

Heizmedium	Wasser	Freon 113	Ethylalkohol
Oberflächen- spannung (mN)	etwa 70 (40°C)	etwa 15 (40°C)	etwa 20 (40°C)
Dichte (kg/m <sup>2</sup> )	1000	1500	770
$d < 2\sqrt{\sigma/\rho g}$ [m]	$d < 5,34 \times 10^{-3}$	$d < 2,0 \times 10^{-3}$	$d < 3,25 \times 10^{-3}$

Wie aus Tabelle I hervorgeht, beträgt die Dicke bzw. der Durchmesser der Heizmedium-Rohrleitung 6 im Bereich des Wärmeabnahmeteils 3 vorzugsweise 5,34 mm oder weniger für das Heizmedium Wasser, vorzugsweise 2,0 mm oder weniger für das Heizmedium Freon 113 bzw. vorzugsweise 3,25 mm oder weniger für das Heizmedium Ethylalkohol.

Wie erwähnt, sind die Dicken bzw. Durchmesser dieser Rohrleitungen Größen, mit denen die Umwälzkraft mit dem besten Wirkungsgrad in der waagerechten Rohrleitung erzielt wird. Auch wenn der Rohrdurchmesser

einer lotrechten oder schrägen Rohrleitung die oben angegebenen Werte übersteigt, läßt sich eine Umwälzkraft eines guten Wirkungsgrads erzielen.

Da zudem in einem schwerelosen Zustand, z. B. in einem Raumsatelliten, eine Gravitationsbeschleunigung von  $g = 0$  vorliegt, läßt sich anhand von Gleichung (1)  $d < \infty$  bestimmen oder berechnen, so daß die Dicke der Rohrleitung nicht festgelegt ist. Auch wenn der Rohrlungsdurchmesser im schwerelosen Zustand groß ist, können ersichtlicherweise die kolbenartigen Blasen ohne weiteres aufrechterhalten werden.

Die Fig. 2 und 3 veranschaulichen eine zweite Ausführungsform der Kühlvorrichtung als Beispiel für die Wärmeübertragungsanordnung.

Bei der ersten Ausführungsform nach Fig. 1 sind der als erster Abstrahlteil dienende Radiator 3 und der als zweiter Abstrahlteil dienende Flüssigkeits-Zwischenwärmetauscher 5 voneinander getrennt, mit dazwischen angeordnetem Rückschlagventil 7. Bei der Anordnung nach Fig. 2 sind der Radiator 8 und der Zwischenwärmetauscher 5 zu einem Abstrahlteil 12 zusammengefaßt.

Fig. 3 veranschaulicht eine Ausgestaltung, bei welcher der Flüssigkeits-Zwischenwärmetauscher 5 und das Kühlgebläse 11 weggelassen sind und das Heizmedium 10 lediglich durch den Abstrahlteil 12, z. B. mittels Abstrahlrippen, gekühlt wird. Dabei kann der Abstrahlteil 12 für Anbringung an einer äußeren Stelle, die für Abstrahlung geeignet ist, ausgelegt sein.

Bei den beiden beschriebenen Ausführungsformen ist das Rückschlagventil 7 im Zuge oder Bereich des Abstrahlteils 12 angeordnet, weil das Rückschlagventil 7 dabei an einer geeigneten Stelle montiert sein kann, um eine Umwälzkraft des Heizmediums 10 aufgrund seiner Ausdehnung und Zusammenziehung zu erzielen.

Wie erwähnt, umfaßt die einfachste Ausgestaltung der Kühlvorrichtung den Wärmeabnahmeteil 3, den Abstrahlteil 12, das in letzteren einbezogene erste Rückschlagventil 4 und das dem Wärmeabnahmeteil 3 in Strömungsrichtung vorgeschaltete zweite Rückschlagventil 7.

Die zu kühlende Einheit ist nicht immer an der Kühlplatte 2 angebracht. Falls keine Kühlplatte 2 vorgesehen ist, ist die Heizmedium-Rohrleitung 6 unmittelbar an der Rohrwandung oder der zu kühlenden Einheit angebracht.

Fig. 4 veranschaulicht eine dritte Ausführungsform einer Kühlvorrichtung als Beispiel für die Wärmeübertragungsanordnung.

Bei dieser Ausführungsform ist die dicht am Wärmeabnahmeteil 3 angeordnete Heizmedium-Rohrleitung 6 in zwei (oder mehrere) Heizmedium-Rohrleitungen 6c, 6d und 6e als Parallelleitung verzweigt, um sicher eine ausreichende Strömungsmenge im Bereich des Wärmeabnahmeteils 3 zu gewährleisten.

Wenn sich die Heiz- oder Wärmedichte der zu kühlenden Einheit (Heizelement) entsprechend der Montage von Heizelementen (d. h. Halbleiterelementen) mit hoher Dichte sehr stark erhöht, wird die Dicke bzw. der Durchmesser der dicht am Wärmeabnahmeteil 3 befindlichen Heizmedium-Rohrleitung 6 entsprechend Gleichung (3) begrenzt, um eine Heizmedium-Umwälzkraft eines guten Wirkungsgrads zu erreichen; dabei kann die Kühlleistung mit nur einer Rohrleitung möglicherweise nicht genügend vergrößert werden. Mit der beschriebenen Ausführungsform soll nun dieses Problem gelöst werden. Insbesondere ist dabei die dicht am Wärmeabnahmeteil 3 befindliche Heizmedium-Rohrleitung 6 in mehrere parallele Rohrleitungen verzweigt. Da die Durchmesser dieser Rohrleitungen 6, die nicht in der Nähe des Wärmeabnahmeteils 3 liegen, nicht begrenzt sind, können diese Rohrleitungen so ausgebildet sein, daß sie in die dickeren Abschnitte der Rohrleitungen 6 übergehen.

Gemäß Fig. 4 ist ein "Mehrrrohr-Wärmekontaktsystem", das vom oben beschriebenen "Doppelrohrsystem" als Flüssigkeits-Zwischenwärmetauscher 5 verschieden ist, vorgesehen. Fig. 5A veranschaulicht den Wärmetauscher 5 im Schnitt längs der Linie A-A in Fig. 4. Gemäß Fig. 5A sind die vom Wärmeabnahmeteil 3 Wärme aufnehmenden Heizmedium-Rohrleitungen 6c, 6d und 6e beispielsweise durch Anlöten zur Begünstigung einer zufriedenstellenden Wärmeübertragung in Berührung mit der Heizmedium-Rohrleitung 6, die vom gekühlten Heizmedium 10 durchströmt wird, angeordnet. Hierdurch wird eine gute Wärmeaustauschwirkung erzielt.

Gemäß Fig. 5B sind die Heizmedium-Rohrleitung 6 sowie die Rohrleitungen 6c, 6d und 6e jeweils durch Anlöten jeweils in Kontakt mit dem Wärmetauscher 5 als gut wärmeleitfähiges Element angeordnet, wobei der Wärmeaustausch über eine Wärmeaustauschplatte 5a stattfinden kann.

Wenn weiterhin bei der Anordnung gemäß Fig. 4, bei welcher die Heizmedium-Rohrleitung 6 in mehrere parallele Rohre verzweigt ist, diese Rohre vor und hinter dem Wärmetauscher 5 ineinander übergehen bzw. zusammengeschaltet sind, kann ein Wärmetauscher mit dem erwähnten Doppelrohrsystem angewandt werden.

Darüber hinaus kann mit den mehreren parallelen Rohren durch zweckmäßige Einstellung der Verzweigungsabschnitte eine ausreichende Strömungsmenge erzielt werden. Zudem ist diese Rohrleitungsanordnung günstig geformt.

Fig. 6 veranschaulicht eine vierte Ausführungsform der Kühlvorrichtung als Beispiel für die Wärmeübertragungsanordnung.

Bei dieser Ausführungsform ist eine Volumenänderungs-Ausgleichvorrichtung 20 zum Stabilisieren der Strömung des Heizmediums vorgesehen. In dieser Ausgleichvorrichtung 20 ist ein nichtkondensierbares Gas, das in einem Normalzustand nicht kondensiert (nicht auf gasförmigen Stickstoff beschränkt), in einem durch eine Gummimembran 21 abgetrennten oberen Raum eingeschlossen. Der untere Raum ist mit der Heizmedium-Rohrleitung 6 verbunden und mit dem Heizmedium 10 gefüllt.

Bei der Kühlvorrichtung mit dieser Ausgleichvorrichtung 20 wird der Betrieb wie folgt stabilisiert:

Wenn das Heizmedium 10 Wärme vom Wärmeabnahmeteil 3 aufnimmt und Siedebblasen entstehen, steigt dabei insbesondere der Druck in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (Heizmedium-Rohrleitung 6) an. Wenn der Druck höher wird, erhöht sich die Verdampfungstemperatur (Siedepunkt), so daß der Betrieb instabil werden kann. Aus diesem Grund wird die durch Verdampfung und Kondensation des Heizmediums 10 hervorgerufene Druckänderung in der geschlossenen Rohrleitungsschleife von der Ausgleichvorrichtung 20 aufgefan-

gen, so daß der Druck in der Rohrleitungsschleife auf eine im wesentlichen konstante Größe geregelt wird. Wenn der Druck in der Rohrleitungsschleife klein ist, bleibt die Verdampfungstemperatur des Heizmediums 10 im wesentlichen konstant. Auf diese Weise wird der Betrieb der Kühlvorrichtung beträchtlich stabilisiert.

Wie erwähnt, besitzt zudem die Kühlvorrichtung die Selbst- oder Eigenregelfunktion. Wenn der Druck in der Rohrleitungsschleife im wesentlichen konstant gehalten wird, bleibt die Verdampfungstemperatur des Heizmediums 10 praktisch konstant, und die Temperatur der zu kühlenden Einheit kann stabil aufrechterhalten werden.

Im folgenden ist eine Temperaturregelvorrichtung als weitere Ausführungsform der Wärmeübertragungsanordnung beschrieben.

Fig. 7 zeigt den Grundaufbau der Anordnung. Dabei sind eine kleine Gasflasche 23 als Druckregelvorrichtung und ein Druckminderventil 24 hinzugefügt, um eine Gasdruckregelung des nichtkondensierbaren Gases zu ermöglichen, das in dem durch die Gummimembran 21 abgetrennten oberen Raum der Volumenänderungs-Ausgleichvorrichtung 20 gemäß Fig. 6 eingeschlossen ist. Bei der Temperaturregelvorrichtung wird in der Gasflasche 23 enthaltenes Hochdruckgas mittels des Druckminderventils 24 reguliert, wobei der Gesamtdruck in der Ausgleichvorrichtung 20 und in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (Heizmedium-Rohrleitung 6) auf eine vorbestimmte Größe geregelt werden kann. Mittels der Druckregelvorrichtung 22 wird der in der Rohrleitungsschleife herrschende Druck beliebig oder willkürlich geändert, um damit die Verdampfungstemperatur des Heizmediums 10 zu ändern und die Kühlleistung zu regeln. Infolgedessen kann die Temperatur der zu kühlenden Einheit 1 zweckmäßig geregelt werden.

Für die automatische Regelung der Temperatur der Einheit 1 wird gemäß Fig. 3 die Temperatur des Heizmediums 10 (oder der Einheit 1) mittels eines Drucksensors 26 erfaßt; das Öffnen des Druckminderventils 24 kann durch eine Ventilöffnungs-Steuervorrichtung 27 automatisch gesteuert werden.

Die Kühlvorrichtung weist eine ihr eigene gewisse Temperatur-Selbstregelfunktion auf. Wie erwähnt, ist bei der beschriebenen Ausführungsform die Druckregelvorrichtung 22 vorgesehen, so daß ein weiterer Temperaturregelbereich vorgegeben und eingehalten werden kann. Dies stellt einen sehr wirksamen Regelmechanismus dar.

Darüber hinaus können bei der eine Anzahl von Rohrleitungen im Wärmeabnahmeteil aufweisenden Vorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform die Verdampfungsgrößen an den entsprechenden Stellen der Rohrleitungen im Wärmeabnahmeteil so geändert werden, daß sie einander aufheben, ohne daß die Volumenänderungs-Ausgleichvorrichtung 20, wie bei vierter und fünfter Ausführungsform, vorgesehen zu sein braucht. Auf diese Weise kann ersichtlicherweise ein stabiler Betrieb erreicht werden. Im Hinblick auf die Vereinfachung des Aufbaus der Anordnung ist das für die dritte Ausführungsform beschriebene Parallelrohrleitungssystem äußerst günstig.

Die Fig. 9A bis 9E sind Schnittansichten mehrerer Beispiele für Rückschlagventile. Fig. 9A zeigt ein Rückschlagventil des einfachsten Aufbaus; dieses umfaßt einen in der Heizmedium-Rohrleitung 6 ausgebildeten Ventilsitz 30 und eine Kugel als Ventilkörper 31. Die Kugel kann aus verschiedenen Metallen, wie Stahl oder einer Legierung, oder aus verschiedenen Arten von (Kunst-)Harzen, wie einem wärmebeständigen Kunststoff, bestehen. Da bei diesem Rückschlagventil der Ventilkörper (die Kugel) 31 frei beweglich ist, ist der Einsatzbereich dieses Rückschlagventils gewissen Einschränkungen unterworfen.

Bei den Rückschlagventilen gemäß den Fig. 9B bis 9E wird jeweils eine den Ventilkörper 31 an den Ventilsitz 30 andrückende Druckfeder 32 verwendet. Ein solches Rückschlagventil kann problemfrei auch in einem schwerelosen Zustand oder in einer waagerechten Rohrleitung eingesetzt werden.

Die Ausgestaltungen der genannten Rückschlagventile sind nicht auf die dargestellten Beispiele beschränkt, vielmehr können beliebige andere Formen verwendet werden, sofern die Funktion jeweils die gleiche ist. Bezüglich der Menge des Heizmediums 10 wurde bereits angegeben, daß diese Menge im allgemeinen etwa 20—99%, vorzugsweise 70—95% des gesamten Fassungsvermögens der Rohrleitungsschleife beträgt. Diese Prozentsätze sind Werte, die durch die Gesamtlänge der geschlossenen Rohrleitungsschleife und die Leistungsfähigkeit des Wärmeabnahmeteils beeinflusst werden. Diese Werte sind im folgenden näher erläutert. Dabei unterliegt als Voraussetzung die Güte des die geschlossene Rohrleitungsschleife bildenden Rohrleitungsmaterials keiner Einschränkung; es wird jedoch vorausgesetzt, daß keine temperaturabhängige Änderung des Gesamtvolumens der Rohrleitung auftritt.

Nachstehend wird folgendes vorausgesetzt:

V = Gesamtvolumen der geschlossenen Rohrleitungsschleife;

V<sub>e</sub> = Volumen der Rohrleitung des Wärmeabnahmeteils 3; und

V<sub>l</sub> = Flüssigkeitsvolumen des einzuschließenden Heizmediums 10 (Einschlußmenge). Unter der Voraussetzung, daß das gesamte Heizmedium 10 des Wärmeabnahmeteils 3 in Dampf übergeht, läßt sich die Einschlußmenge ausdrücken zu V - V<sub>e</sub>.

Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads bzw. der Wirksamkeit der Umwälzkraft sei jedoch angenommen, daß etwa 10% des Heizmediums 10 in Dampf übergehen; die tatsächliche oder Ist-Einschlußmenge läßt sich dabei durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$\text{Ist-Einschlußmenge} = V - (0,1 \times V_e)$$

Die Flüssigkeits-Einschlußmenge V<sub>l</sub> läßt sich daher durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$V - V_e < V_l < V - (0,1 \times V_e)$$

Die Kühlvorrichtung und die Temperaturregelvorrichtung bei der Wärmeübertragungsanordnung sind nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern verschiedenen Änderungen und



Abwandlungen zugänglich.

- Wie vorstehend beschrieben, wird eine Wärmeübertragungsanordnung geschaffen, die durch eine Kühlvorrichtung eines einfachen Aufbaus repräsentiert ist, bei welcher die Anordnung der einzelnen Bauteile keinen Begrenzungen oder Einschränkungen unterliegt und keine eine mechanische Antriebsquelle aufweisende Umwälzvorrichtung, wie eine Pumpe, benötigt wird. Zudem wird eine eine derartige Kühlvorrichtung aufweisende Temperaturregelvorrichtung geschaffen.

#### Patentansprüche

1. Wärmeübertragungsanordnung, umfassend eine geschlossene Rohrleitungsschleife (6), die eine vorbestimmte Menge eines flüssigen Heizmediums (10) einschließt, einen Wärmeabnahmeteil (3), der Wärme von einem zu kühlenden Objekt (1) aufnimmt und die Wärme zum Heizmedium (10) in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6) überträgt, einen Abstrahlteil (8), welcher dem Heizmedium (10) in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6) Wärme entzieht, ein erstes Rückschlagventil (4), welches das Heizmedium (10) aufgrund einer Volumenausdehnung, die dann stattfindet, wenn mindestens ein Teil des Heizmediums (10) im Wärmeabnahmeteil (3) verdampft, in einer ersten Richtung zum Abstrahlteil (8) strömen läßt, und ein zweites Rückschlagventil (7), welches das Heizmedium (10) aufgrund einer Volumenverkleinerung, die dann entsteht, wenn das verdampfte Heizmedium (10) im Abstrahlteil (8) abkühlt, nur in der gleichen Richtung wie die erste Richtung strömen läßt, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendurchmesser  $d$  (mm) des Rohrs der geschlossenen Rohrleitungsschleife nahe dem Wärmeabnahmeteil (3) entsprechend folgender Formel gewählt ist:

$$d < 2 \times \sqrt{\sigma / \rho g}$$

in welcher bedeuten:

$\sigma$  = Oberflächenspannung des Heizmediums (N/m),

$\rho$  = Dichte des Heizmediums ( $\text{g/cm}^3$ ) und

$g$  = Gravitationsbeschleunigung ( $\text{m/s}^2$ ).

2. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Wärmetauscher (5) für einen Wärmeaustausch des im Abstrahlteil (8) gekühlten Heizmediums (10) mit dem im Wärmeabnahmeteil (3) erwärmten Heizmedium.
3. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmetauscher (5) ein erstes, das Heizmedium (10), das Wärme vom Wärmeabnahmeteil (3) abgenommen hat, führendes Rohr (6a) und ein zweites Rohr (6b) aufweist, welches das im Abstrahlteil (8) gekühlte Heizmedium (10) führt und einen Wärmeaustausch mit dem Heizmedium im ersten Rohr (6a) durchführt.
4. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Rohr (6b) die Außenseite des ersten Rohrs (6a) umschließend angeordnet ist und daß erstes (6a) und zweites Rohr (6b) zu einer Doppelrohrstruktur geformt sind.
5. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Rohr (6a) und das zweite Rohr (6b) thermisch miteinander verbunden sind, derart, daß ein Wärmeaustausch zwischen ihnen stattfinden kann.
6. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Druckregleinheit (20, 22) zum Regeln des Drucks in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6).
7. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstrahlteil (8) ein Kühlgebläse (11) aufweist.
8. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einschlußmenge des Heizmediums (10) auf einen Bereich festgelegt ist, der durch folgende Ungleichung ausgedrückt ist:

$$V - V_E < V_I < V - (0,1 \times V_E),$$

in welcher bedeuten:

$V$  = Gesamtvolumen der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6),

$V_E$  = Volumen der Rohrleitung des Wärmeabnahmeteils (3) und

$V_I$  = Gesamtvolumen (Einschlußmenge) des Heizmediums (10).

9. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die geschlossene Rohrleitungsschleife (6) eine Rohrleitung aufweist, die in mehrere parallele Rohre (6c, 6d, 6e) verzweigt ist.
10. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckregleinheit (20, 22) ferner eine Volumenänderungs-Ausgleicheinheit (20) zum Absorbieren der Volumenausdehnung des Heizmediums (10) in der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6) aufweist.
11. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenänderungs-Ausgleicheinheit (20) ein mit der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6) verbundenes, geschlossenes Gefäß aufweist, wobei ein flexibles Element (21) das Gefäß in einen ersten, mit der geschlossenen Rohrleitungsschleife (6) verbundenen Raum und einen zweiten, geschlossenen Raum unterteilt und ein nichtkondensierbares Gas im zweiten Raum eingeschlossen ist.
12. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß ferner eine Gasdruck-



regeleinheit (22) zum Regeln des Drucks des im zweiten Raum eingeschlossenen nichtkondensierbaren Gases vorgesehen ist.

13. Wärmeübertragungsanordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Gasdruckregeleinheit (22) eine Gaszuführeinheit (23) zum Zuspiesen von Hochdruckgas, ein Druckminderventil (24) zum Mindern des Drucks des von der Gaszuführeinheit (23) zugspeisten Hochdruckgases und zum Einführen 5 von druckgemindertem Gas in den zweiten Raum sowie eine Öffnungssteuereinheit (27) zum Steuern des Öffnens des Druckminderventils (24) aufweist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

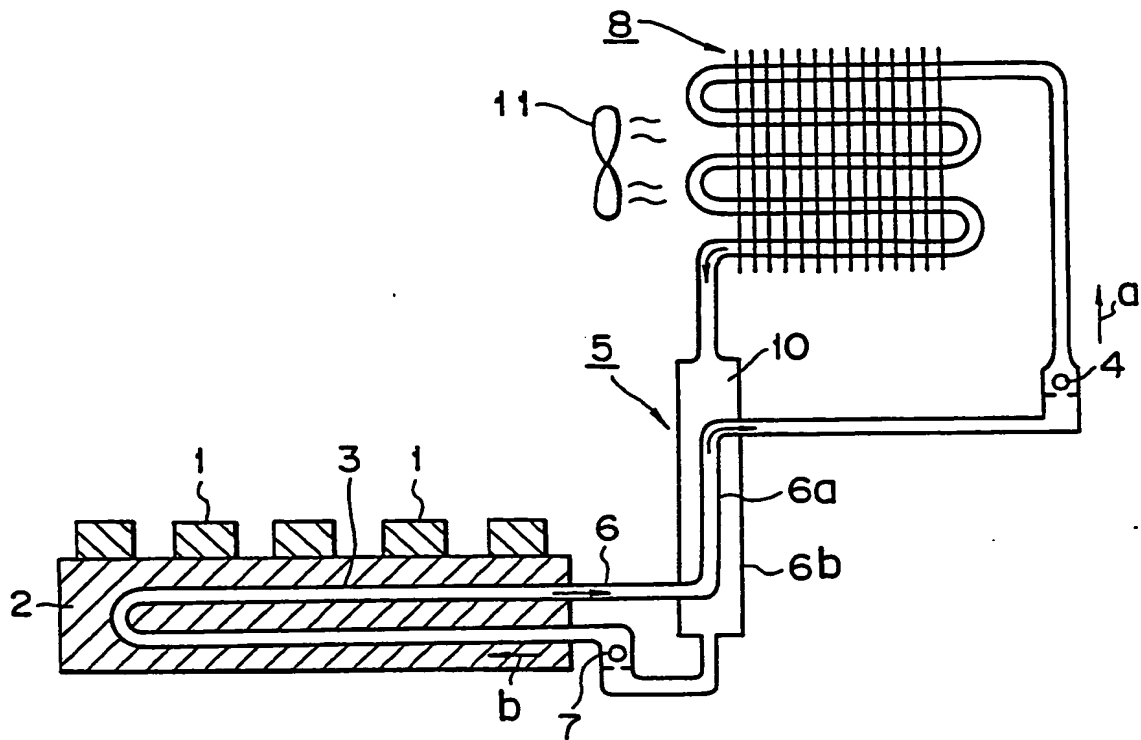


FIG. 1

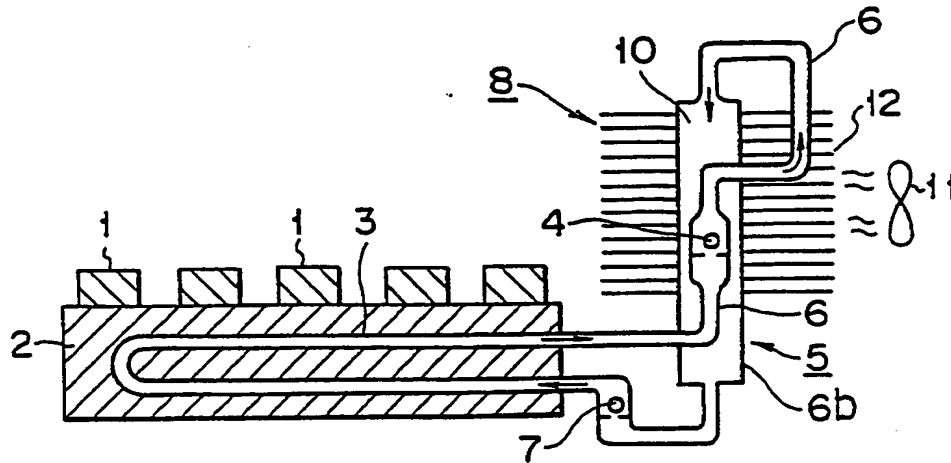


FIG. 2

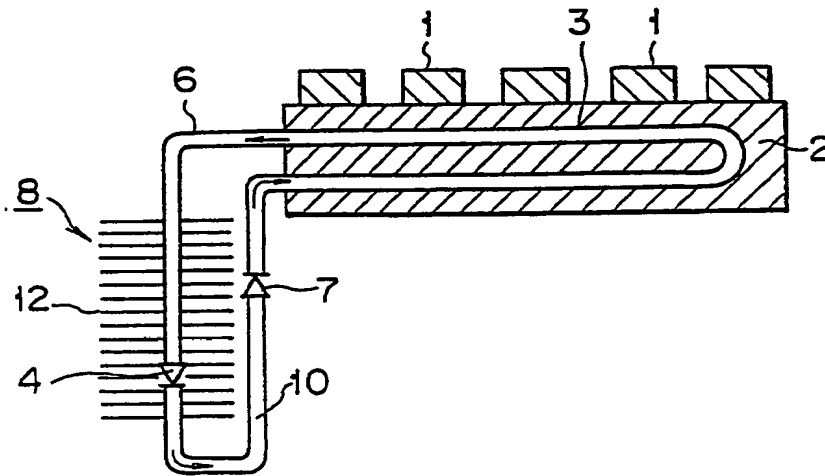


FIG. 3

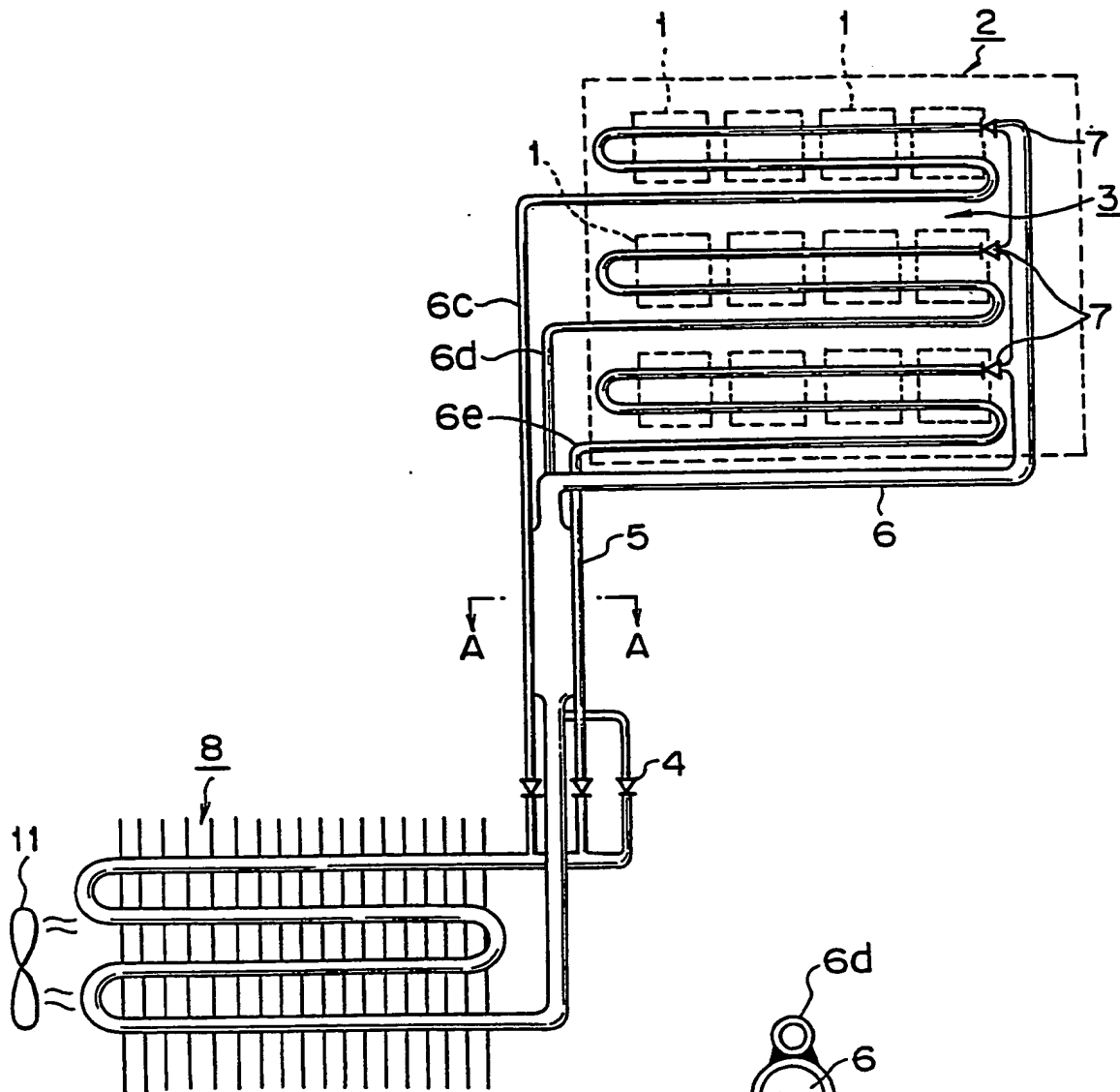


FIG. 4

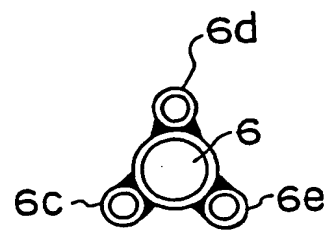


FIG. 5A

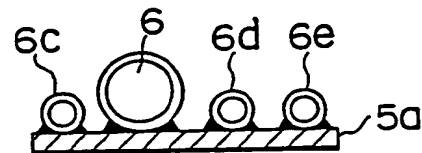


FIG. 5B

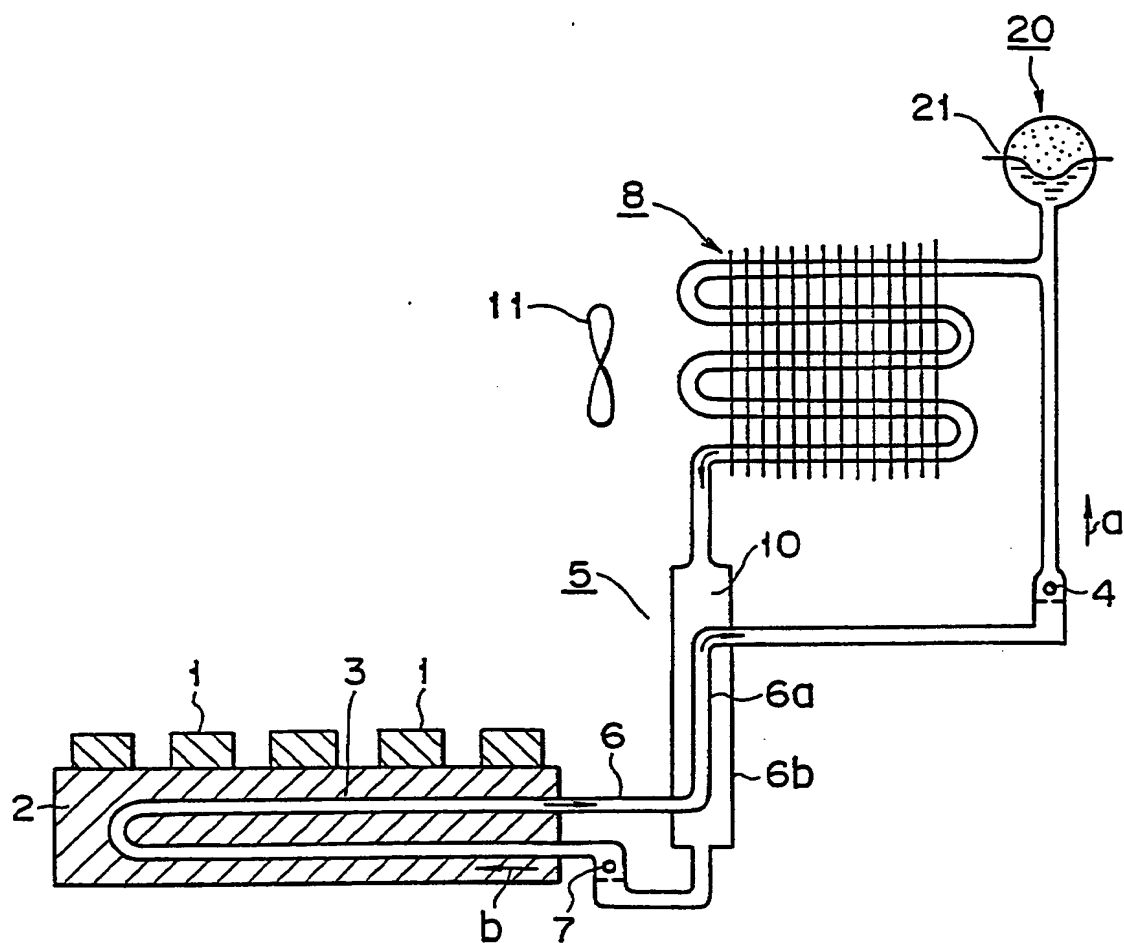


FIG. 6

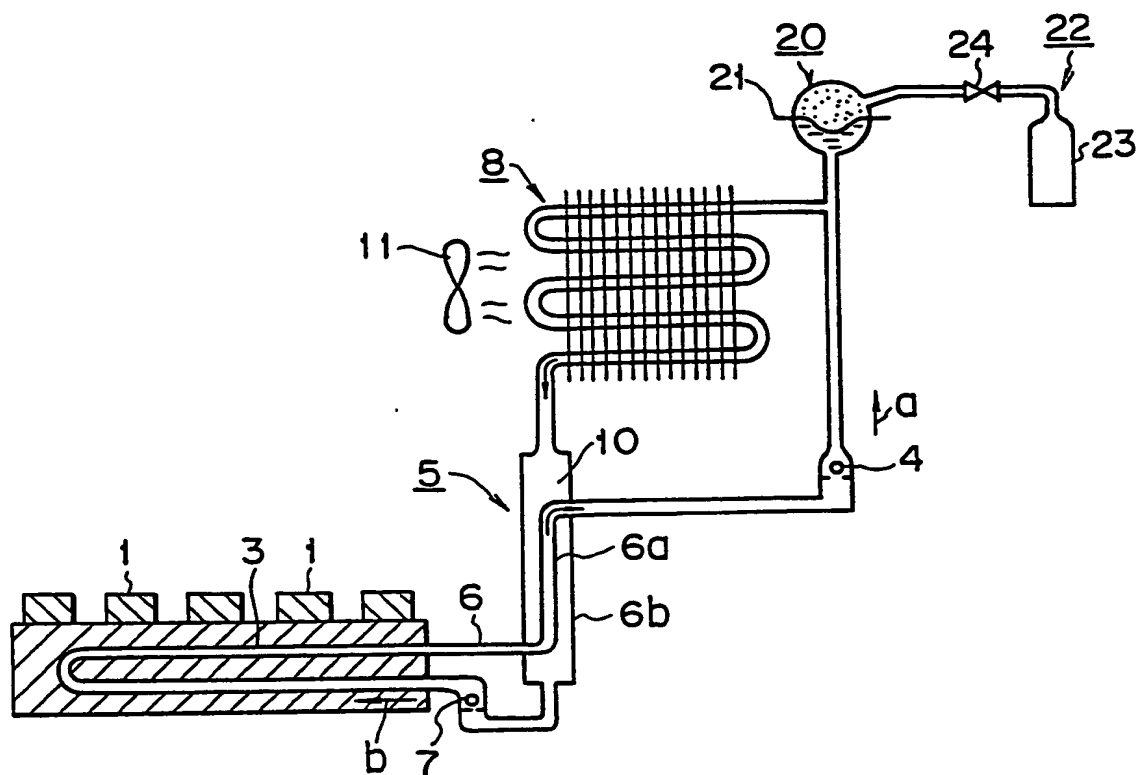


FIG. 7

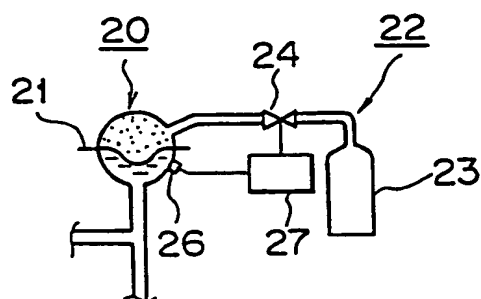


FIG. 8



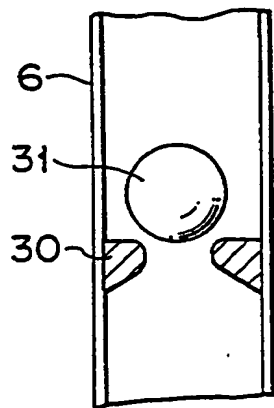


FIG. 9A

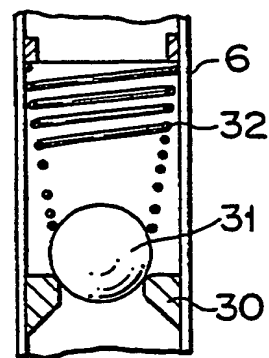


FIG. 9B

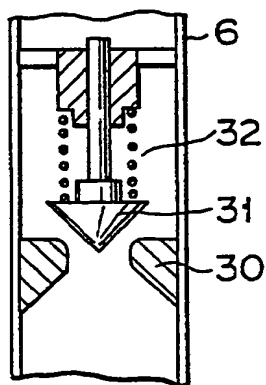


FIG. 9C

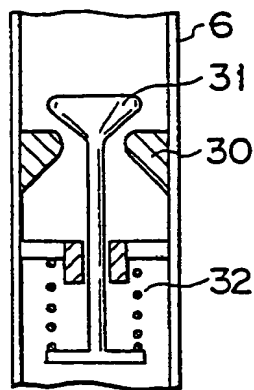


FIG. 9D

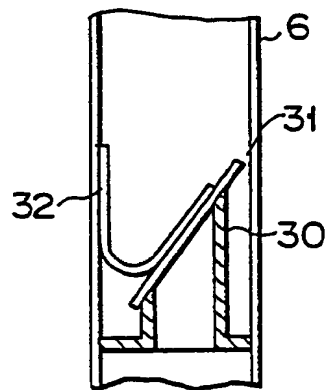
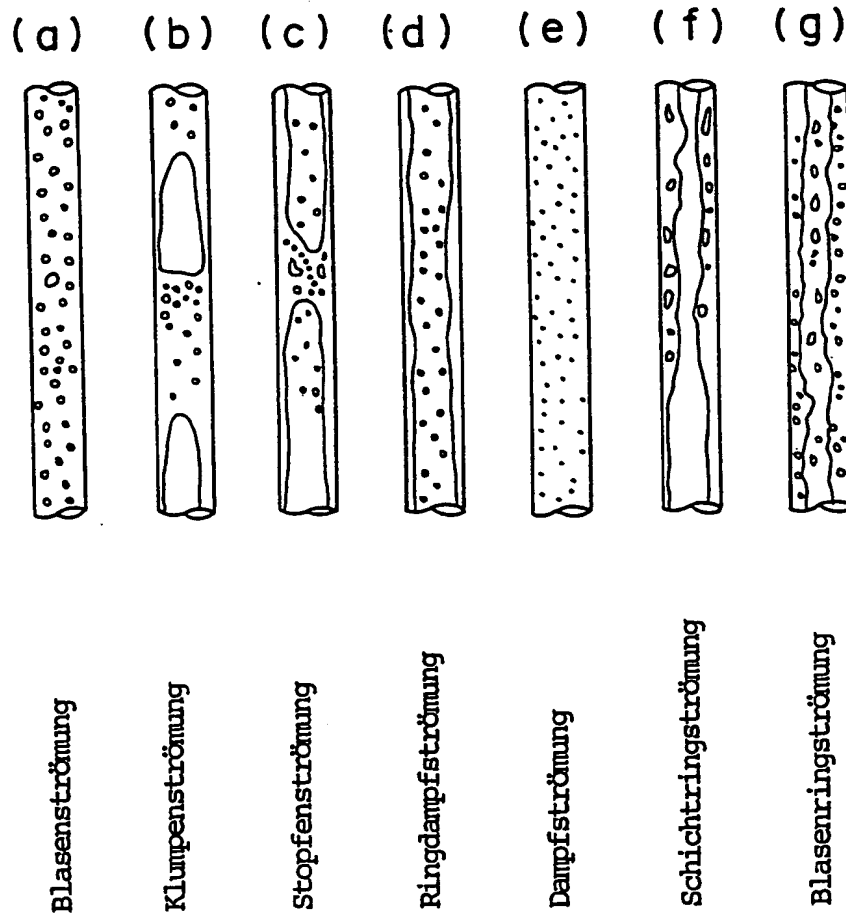
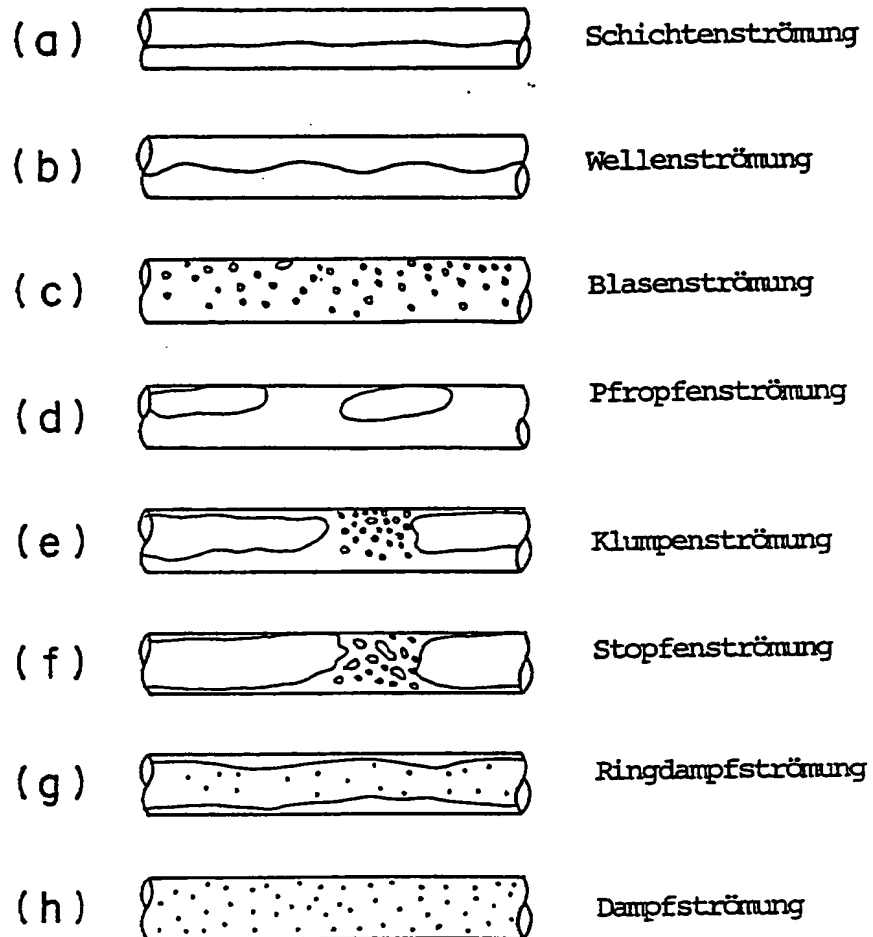


FIG. 9E



F I G. 10



F I G. 11

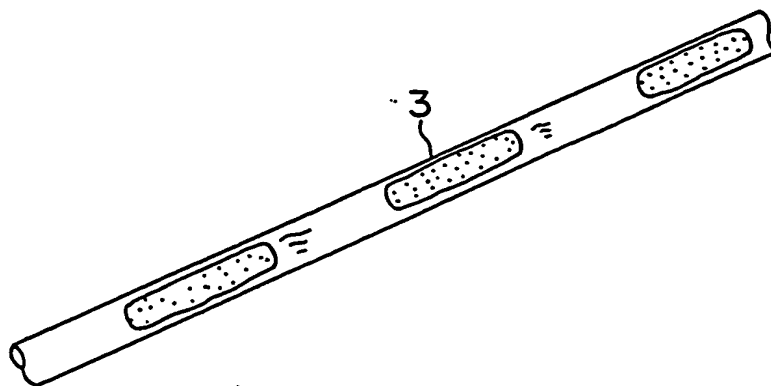


FIG. 12

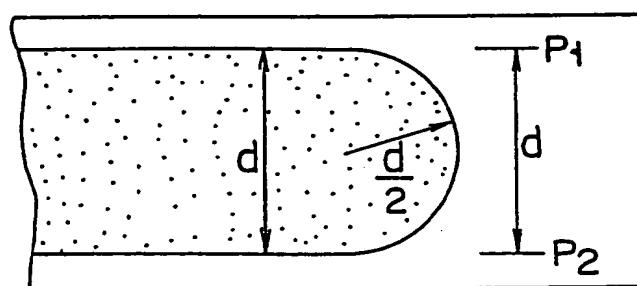
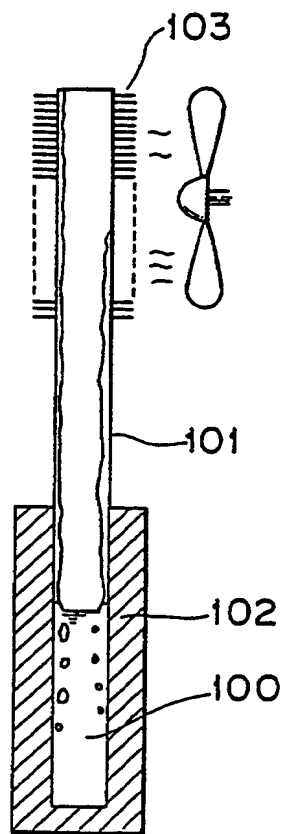


FIG. 13



F I G. 14